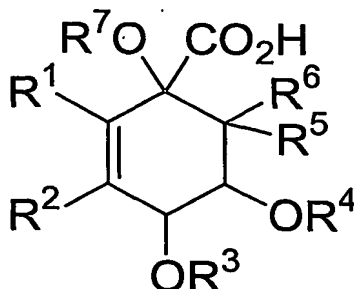


PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE INHIBIDORES DEL ENZIMA
DESHIDROQUINASA TIPO II Y DE SUS PRECURSORES.

La presente invención se refiere al procedimiento de obtención de inhibidores del enzima deshidroquinasa tipo II, que poseen una estructura carboxiciclohexénica; y a la obtención de los intermedios precursores de dichos inhibidores. Los compuestos son preparados a partir del ácido (-)-quínico.

Los inhibidores presentan la siguiente fórmula:



10

donde R¹, R², R³, R⁴, R⁵, R⁶ y R⁷ pueden ser hidrógeno, alquiloxi o alquílico con cadenas de C1-C10, o cualquier compuesto aromático, o un grupo benciloxi en el que el anillo aromático puede estar sustituido por uno o varios sustituyentes escogidos entre grupos halógeno, nitro, guanidinio, azido, ciano, fosfato, amino, carboxi, amida, tiol, tioester, tioéter, alcohol, alcoxi o alquilo con cadenas de C1-C10.

15

En el sector de la agricultura, el crecimiento de hierbas indeseables junto con los cultivos origina importantes problemas, como son la disminución de la producción y de la calidad, dificultades del laboreo y recolección, y la necesidad de mano de obra o de plaguicidas para su eliminación. Por ello, las hierbas indeseables limitan la producción agrícola y repercuten considerablemente sobre su economía. Se estima que la disminución de la producción originada por el desarrollo de malas hierbas es de un 15-20% del valor total de los cultivos, debiéndose principalmente a la competencia de las hierbas con las plantas útiles por el consumo de elementos nutritivos, agua y luz. Por todo ello, el uso de herbicidas se ha impuesto como una de las operaciones necesarias para conseguir cosechas estables de alto rendimiento. Actualmente el tratamiento con herbicidas ha alcanzado tal extensión, que ha dado lugar a una rama de la industria química de una gran importancia.

20

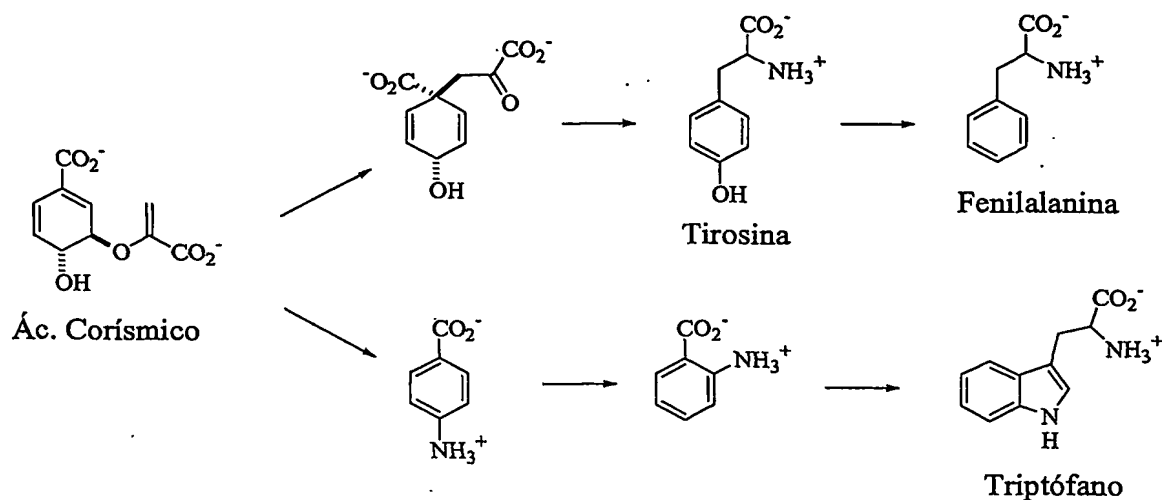
25

Es necesario descubrir nuevos herbicidas con el máximo de selectividad, de modo que ataquen preferentemente a las malas hierbas, afectando al mínimo las cultivadas. La selectividad se logra a menudo mediante productos químicos que interfieren en rutas

biogénicas presentes en las malas hierbas. Así, existen herbicidas que interfieren en la biosíntesis de proteínas, aminoácidos aromáticos, lípidos o carotenoides.

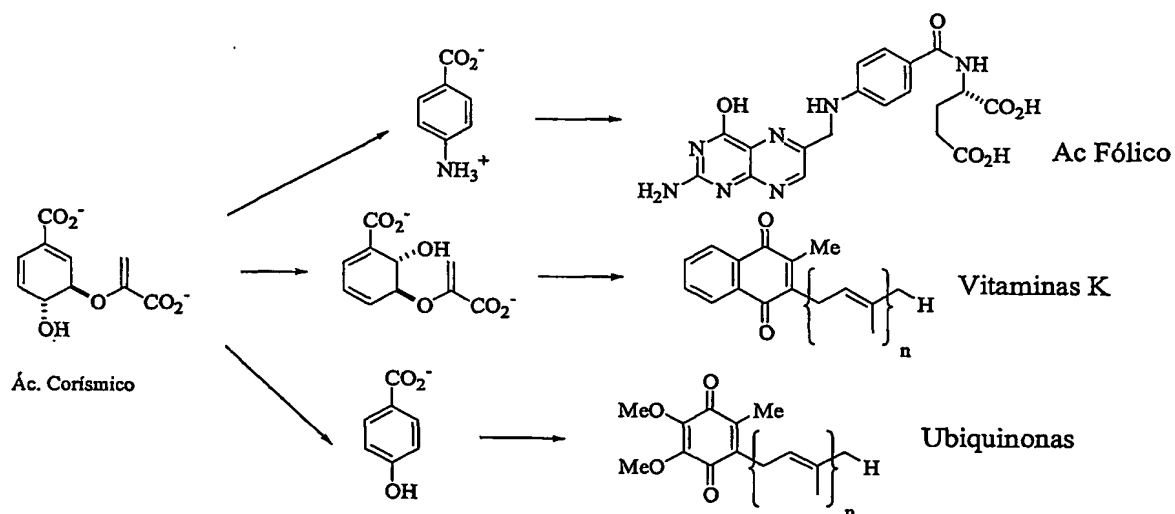
El ácido corísmico es un intermedio clave en la biosíntesis de los aminoácidos aromáticos tirosina, fenilalanina y triptófano.

5



El ácido corísmico también es un intermedio clave en la biosíntesis de otros productos biológicamente importantes tales como: *p*-aminobenzoato, el ácido fólico, *p*-hidroxibenzoato y ciertas vitaminas.

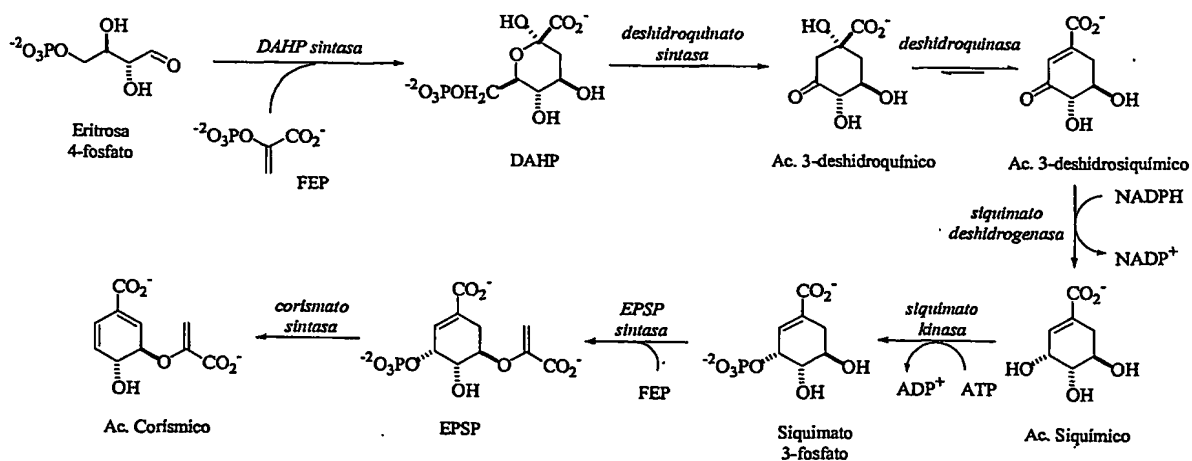
10



A su vez el ácido corísmico se biosintetiza mediante una serie de reacciones químicas conocidas con el nombre de la ruta del ácido shiquímico (para una revisión sobre este tema véase (a) Abell, C. *Enzymology and Molecular Biology of the Shikimate Pathway*; (b) Haslam, E. *Shikimic Acid: Metabolism and Metabolites*, Oxford, 1999, Vol 1, pág. 573. (b) Haslam, E. *Shikimic Acid: Metabolism and Metabolites*,

15

John Wiley, Chichester, 1993). Esta ruta biosintética está presente en el metabolismo secundario de las plantas, los hongos y las bacterias, pero no en los animales (Hawkins, A. R. *CRC Crit. Rev. Biochem.* 1990, 25, 307), por lo que se considera una fuente muy importante para el desarrollo de nuevos herbicidas, fungicidas o antibióticos capaces de bloquear selectivamente determinadas transformaciones enzimáticas de esta vía biosintética (véase: (a) Jaworski, E. G. *Food. Chem.* 1972, 20, 1195. (b) Baillie, A. C.; Corbett, J. R.; Dowsett, J. R.; McCloskey, P. *Pestic. Sci.* 1972, 3, 113. (c) Kishore, G. M.; Shah, D. M. *Annu. Rev. Biochem.* 1988, 57, 627). Téngase en cuenta que un herbicida que actúe sobre una ruta metabólica presente en plantas, pero no en animales, es de esperar que presente una toxicidad mínima en humanos. El mejor herbicida que se produce mundialmente en la actualidad, el Glifosato, actúa precisamente inhibiendo el sexto enzima de la ruta del ácido siquímico (EPSP sintasa) con una magnífica constante de inhibición de aproximadamente 1 μM (véase: (a) Steinrucken, H. C.; Amerhein, N. *Eur. J. Biochem.* 1984, 143, 351. (b) Steinrucken, H. C.; Amerhein, N. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1980, 94, 1207). El glifosato forma un complejo con el enzima y el siquimato 3-fosfato que inhibe la actividad enzimática y que se considera responsable de su actividad herbicida. El glifosato es el componente activo de los herbicidas Roundup y Tumbleweed utilizados ampliamente como herbicidas selectivos post-emergentes de baja toxicidad.



20

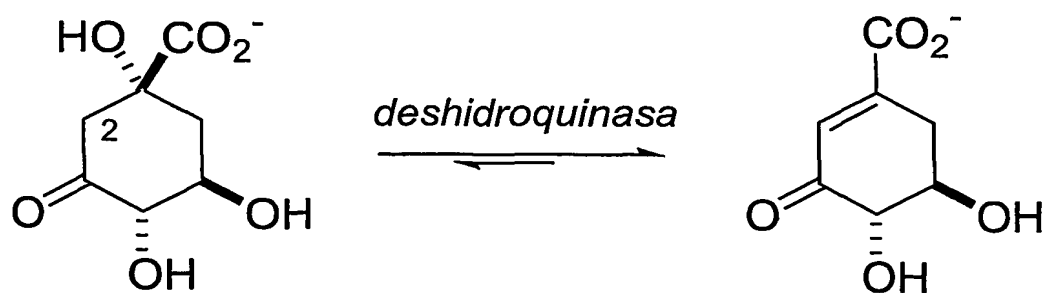
Es importante destacar además que recientemente Roberts y colaboradores (*Nature* 1998, 393, 801) demostraron la sorprendente presencia de estos enzimas de la ruta del ácido siquímico en ciertos parásitos animales del *Phylum apicomplexa*, como el *Toxoplasma gondii*, *Plasmodium falciparum* (malaria) y *Cryptosporidium parvum*. Por tanto los herbicidas inhibidores de la ruta del ácido siquímico pueden ser eficaces contra estos organismos. De hecho, se ha demostrado que el glifosato es eficaz contra la malaria (véase: (a) McFadden, G.

25

I.; Keith, M. E.; Monholland, J. M.; Lang-Unasch, N. *Nature* 1996, 381, 482. (b) Fichera, M. E.; Roos, D. S. *Nature* 1997, 390, 407). Esta enfermedad, junto con el sida y la tuberculosis, forman según la Organización Mundial de la Salud el trío de enfermedades infecciosas más mortíferas para la humanidad hoy en día. Por tanto existe la posibilidad que compuestos con propiedades herbicidas podrían tener además actividad antimalárica.

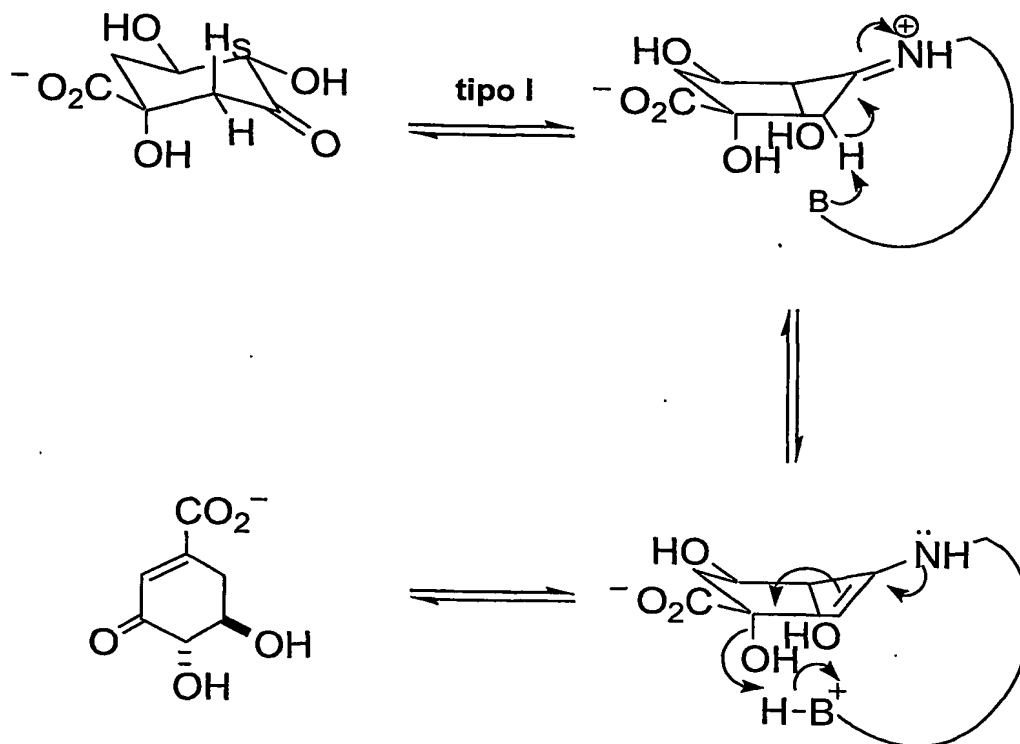
Existe por tanto la posibilidad de que se puedan obtener compuestos con un amplio espectro de actividad. Su gran interés radica en que se puedan utilizar en el tratamiento de enfermedades provocadas por varios agentes patógenos, que infecten simultáneamente a un mismo ser vivo.

Se puede lograr un herbicida selectivo y eficaz inhibiendo alguno de los enzimas presentes en la ruta del ácido siquímico. Nuestro interés se centra en el tercer enzima de esta ruta biosintética, la deshidroquinasa (3-deshidroquinato deshidratasa, EC 4.2.1.10), que cataliza la deshidratación del ácido 3-deshidroquinico a ácido 3-deshidrosiquímico. Se conocen dos tipos de deshidroquinasas, denominadas tipo I y tipo II, debido a sus diferentes propiedades biofísicas y a la distinta secuencia de aminoácidos que poseen (véase Hawkins, A. R. *Curr. Genet.* 1987, 11, 491). Ambas catalizan la misma transformación, pero mediante diferentes mecanismos y con opuesta estereoquímica (véase Kleanthous, C.; Davis, K.; Kelly, S. M.; Cooper, A.; Harding, S. E.; Price, N. C.; Hawkins, A. R.; Coggins, J. R. *Biochem. J.* 1992, 282, 687). Las deshidroquinasas tipo II, que proceden de diferentes fuentes (*Mycobacterium tuberculosis*, *Streptomyces coelicolor* y *Aspergillus nidulans*), son dodecaméricas (12-16 KDa) y térmicamente estables, mientras que los enzimas tipo I son diméricos (27 KDa) y sensibles a la temperatura.



El enzima más estudiado es la deshidroquinasa tipo I procedente de *Escherichia coli* (véase Chauduri, C.; Duncan, K.; Graham, L. D.; Coggins, J. R. *Biochem. J.* 1990, 275, 1). Coggins y colaboradores (*J. Am. Chem. Soc.* 1991, 113, 9416; *J. Biol. Chem.* 1995, 270, 25827) demostraron que su mecanismo de acción transcurre a través de la formación de una base de Schiff entre el grupo cetona y un resto de Lisina en el centro activo (Lys170). Supone la pérdida del hidrógeno *pro-R* en C-2, correspondiendo globalmente a una eliminación en *syn*

de agua (véase: (a) Hanson, K. R.; Rose, I. A. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1963, 50, 981. (b) Smith, B. W.; Turner, M. J.; Haslam, E. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* 1970, 842. (c) Haslam, E.; Turner, M. J.; Sargent, D.; Thompson, R. S. *J. Chem. Soc. (C)* 1971, 1489).

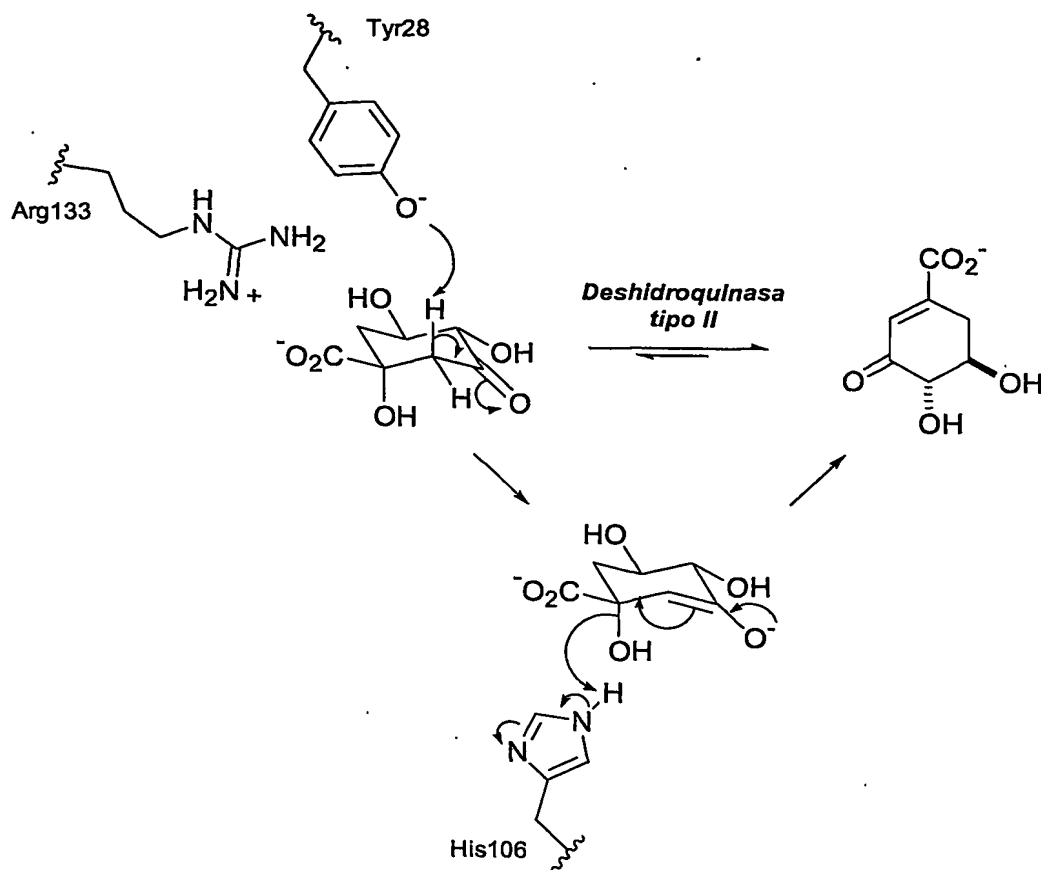


5

Por el contrario, el enzima tipo II (véase: (a) Gourley, D. G.; Coggins, J. R.; Isaacs, N. W.; Moore, J. D.; Charles, I. G.; Hawkins, A. R. *J. Mol. Biol.* 1994, 241, 488. (b) Krell, T.; Pitt, A. R.; Coggins, J. R. *FEBS Lett.* 1995, 360, 93) cataliza la eliminación en *anti* de agua con la pérdida del hidrógeno más ácido, el *pro-S* (véase: (a) Shneier, A.; Harris, J.; Kleanthous, C.; Coggins, J. R.; Hawkins, A. R.; Abell, C. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 1993, 3, 1399. (b) Harris, J., Kleanthous, C.; Coggins, J. R.; Hawkins, A. R.; Abell, C. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* 1993, 13, 1080). Abell y colaboradores propusieron que la reacción transcurre a través de un mecanismo E1CB, a través de un enolato intermedio (*Biochem. J.* 1996, 319, 333).

Recientemente Laphorn y colaboradores (*Structure* 2002, 10, 493) han podido resolver la estructura cristalina de la deshidroquinasa tipo II procedente de *Streptomyces coelicolor*. Esta estructura de rayos X ha permitido definir claramente tanto la posición como la estructura del centro activo. Y lo que es más importante, ha aclarado tanto el papel que juegan los aminoácidos del centro activo así como confirmar el mecanismo enólico previamente propuesto por Abell.

15

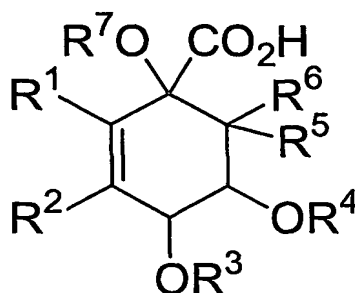


Lapthorn y colaboradores proponen que la Tyr28 actúa como base en la primera etapa de
 5 abstracción del protón axial en α a la cetona. Destacar que este residuo de Tyr se encuentra
 desprotonado debido al entorno básico donde se encuentra y del que es responsable la
 Arg113. Después de la desprotonación, proponen que el sustrato forma un enolato intermedio.
 Y aunque si bien no existe ningún residuo suficientemente próximo como para estabilizar la
 carga negativa, en su lugar una molécula de agua se sitúa correctamente a 2.8 Å de este grupo
 10 coordinada con el grupo amida de la Asn16, el carbonilo de la Pro15 y el nitrógeno de la
 Ala82. Finalmente se produce la eliminación de agua, etapa catalizada por la His106 que
 actúa como donadora de protones y además el carbonilo de la Asn79 actúa como aceptor de
 protones favoreciendo la eliminación final de agua.

En la presente invención describimos una clase de compuestos que se caracterizan por
 15 tener un anillo de seis miembros con un doble enlace entre las posiciones 5 y 6 y un grupo
 carboxílico en la posición 1. Son objetivos de esta invención compuestos con la estructura
 básica antes mencionada en la que los grupos R^1 , R^2 , R^3 , R^4 , R^5 , R^6 y R^7 pueden ser
 hidrógeno, alquilo o alquilo con cadenas de C1-C10, o cualquier compuesto aromático, o

un grupo benciloxi en el que el anillo aromático puede estar sustituido por uno o varios radicales, idénticos o distintos, elegidos entre grupos halógeno, alquilo polihalogenados, nitro, azido, amino, fosfato, carboxi, amida, tiol, tioéster, guanidinio, tioéter, alcohol, alcoxi o alquilo con cadenas de C1-C10.

5



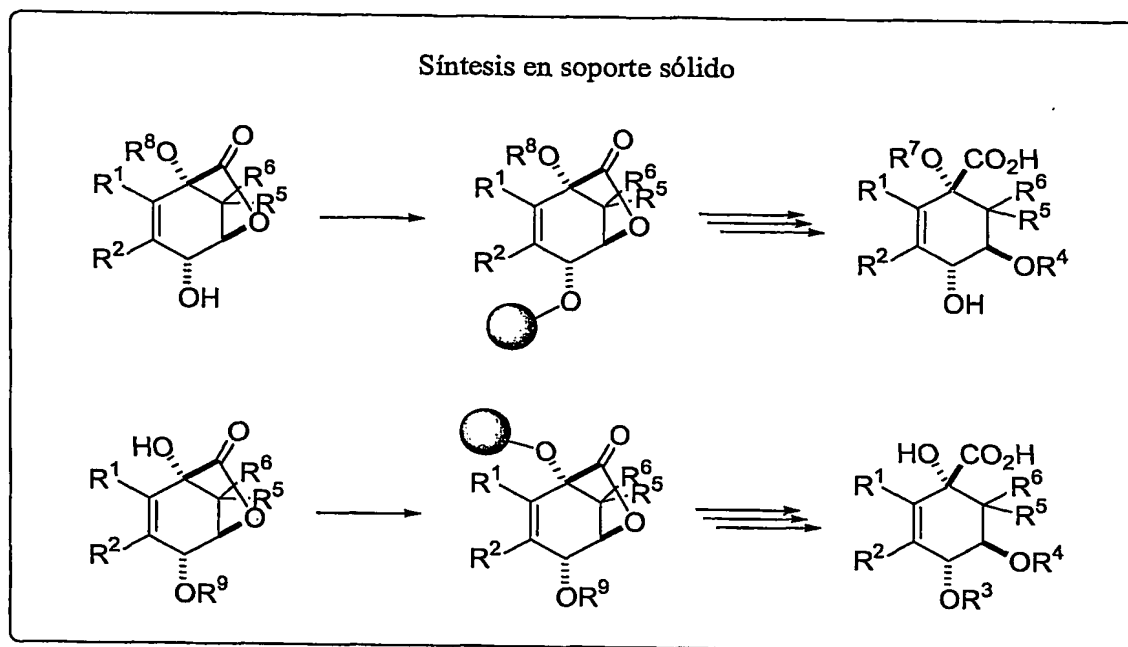
En todos ellos, los distintos sustituyentes son radicales del tipo: alquilo lineal o ramificado de 1-10 átomos de carbono, alqueno de 2 a 10 átomos de carbono, alquino de 3 a 10 átomos de carbono, cicloalquilo de 3 a 6 átomos de carbono, cicloalqueno de 4 a 6 átomos de carbono, o bicicloalquilo de 7 a 10 átomos de carbono; estando sustituidos eventualmente estos radicales por uno o varios sustituyentes, idénticos o diferentes, elegidos entre los átomos de halógeno y los radicales hidroxilo, amino, tiol, azido, nitro, fosfato, alcoxi que contienen de 1 a 4 átomos de carbono, piperidinilo, morfolinilo, indol, furano, piperazinilo-1 (eventualmente sustituido en -4 por un radical alquilo de 1 a 4 átomos de carbono o por un radical fenilalquilo, cuya parte alquilo contiene de 1 a 4 átomos de carbono), cicloalquilo de 3 a 6 átomos de carbono, cicloalqueno de 4 a 6 átomos de carbono, fenilo, ciano, nitro, carboxi, alcóxicarbonilo, halógeno, amino o amida, cuya parte alquilo contiene de 1 a 4 átomos de carbono, o un radical fenilo, eventualmente sustituido por uno o varios radicales, idénticos o distintos, elegidos entre los radicales alquilo de 1 a 4 átomos de carbono halogenados o no, o alcoxi de 1 a 4 átomos de carbono, o grupos halógenos, nitro, azido, fosfato, amino, ciano, carboxi, amida, tiol, tioéster, guanidinio, tioéter, alcohol, un radical heterocíclico nitrogenado saturado o insaturado que contiene de 1 a 4 átomos de carbono, un radical heterocíclico nitrogenado saturado o insaturado que contiene 5 ó 6 miembros, eventualmente sustituidos por uno o varios radicales alquilo de 1 a 4 átomos de carbono, entendiéndose que los radicales cicloalquilo, cicloalqueno o bicicloalquilo pueden estar eventualmente sustituidos por uno o varios radicales alquílicos que contienen de 1 a 4 átomos de carbono.

Son también objeto de la presente invención las propiedades herbicidas, farmacéuticas de los compuestos mencionados anteriormente, incluyendo sus propiedades anticancerosas y

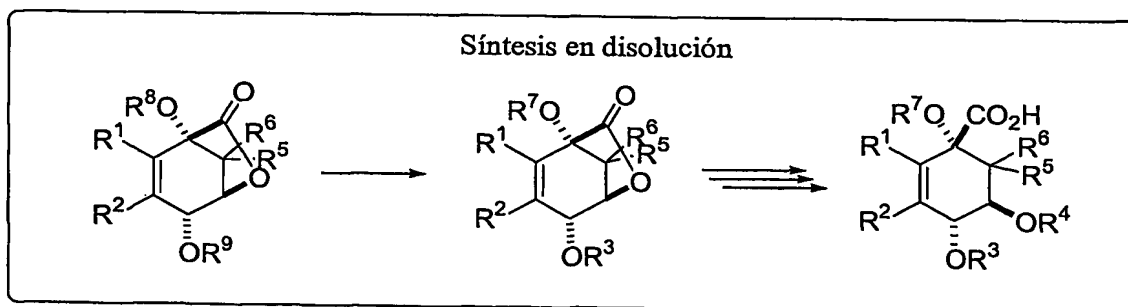
30

antibióticas. Por último se describe el procedimiento de obtención de dichos compuestos.

El procedimiento de obtención está basado en la modificación química mediante transformaciones sencillas de un esqueleto básico, bien mediante química en disolución o mediante química en soporte sólido. Las etapas claves de estas transformaciones consisten en la alquilación de los alcóxidos derivados de esos compuestos básicos, adecuadamente funcionalizados, bien en disolución o en soporte sólido con distintos electrófilos; la rotura de los compuestos de la resina para el caso de la síntesis en soporte sólido, y por último la reacción de hidrólisis que conduce a la obtención del grupo ácido.



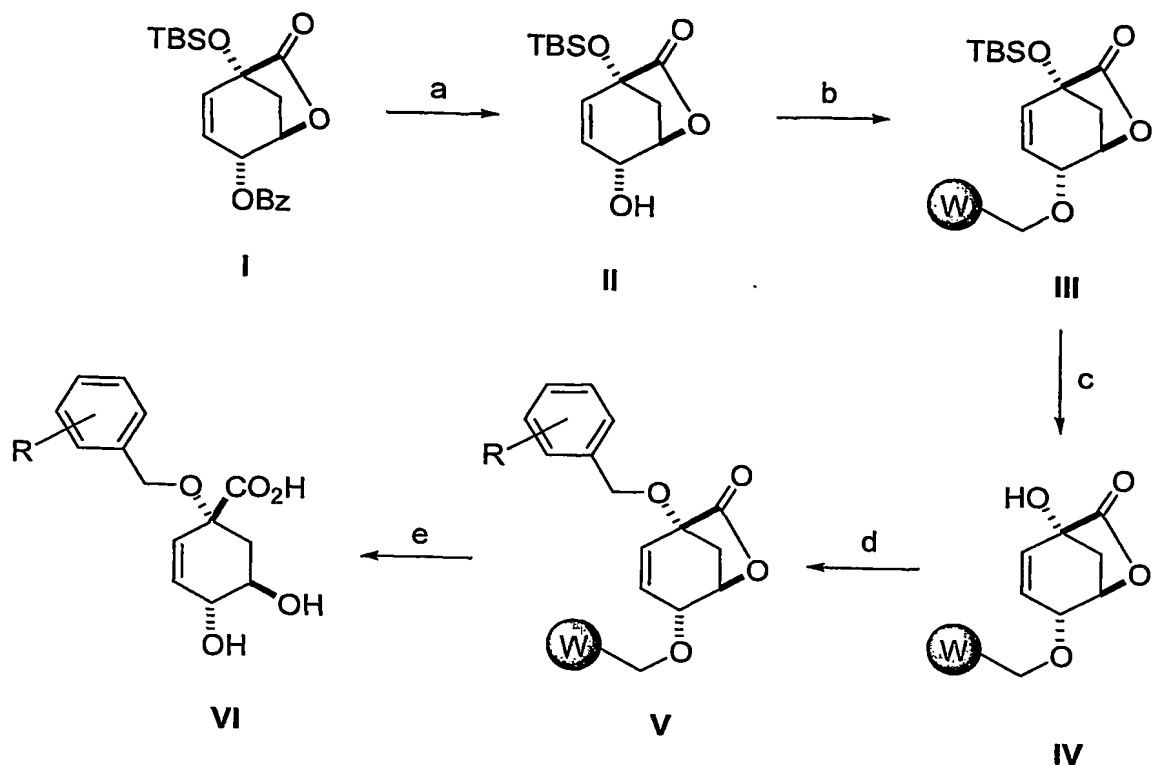
10



15 EJEMPLO 1

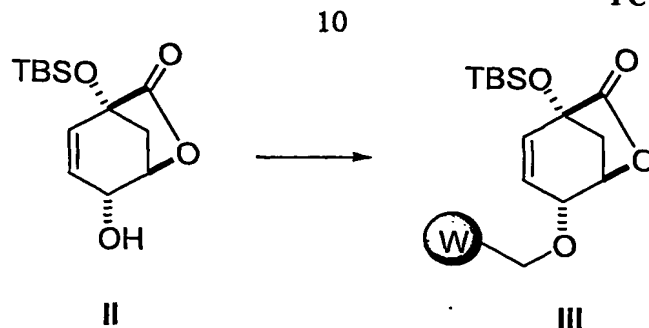
Los ácidos ciclohexénicos (VI) se prepararon siguiendo la mencionada estrategia sintética en fase sólida, y empleando como sustancias de partida la carbolactona I, la resina poliestirénica

BromoWang y el correspondiente bromuro de bencilo derivado.

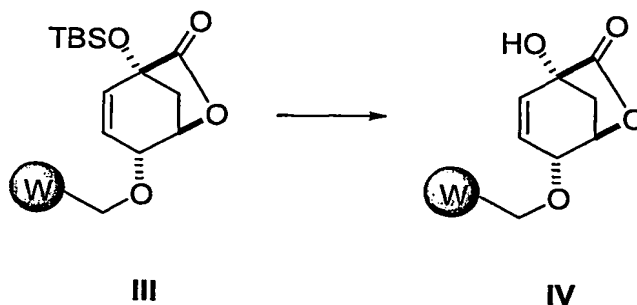


- 5 (a) K_2CO_3 , MeOH, 60 °C, 67%; (b) 1. HNa, DMF, 0 °C; 2. resina BromoWang, 15-corona-5, t.a.; (c) TBAF, THF, t.a.; (d) 1. HNa, DMF, 0 °C; 2. R-fenil- CH_2Br , 15-corona-5, 40-80 °C; (e) 1. 50% TFA/DCM, 2. LiOH, THF, t.a., 3. Amberlita IR-120 (H^+).

- 10 Así, el tratamiento de la carbolactona I con carbonato potásico en metanol proporciona el alcohol alílico II (véase González, C.; Carballido, M.; Castedo, L. *J. Org. Chem.* 2003, 68, 2248) que por tratamiento con hidruro sódico y posterior reacción con la resina poliestirénica bromoWang conduce al éter III. El tratamiento del éter III con fluoruro de tetrabutilamonio proporciona el alcohol terciario IV que por reacción con hidruro sódico y posterior reacción
- 15 con los correspondientes bromuros bencílicos da lugar a los éteres V. Finalmente los ácidos deseados V se obtienen mediante un proceso en tres etapas que consiste en primer lugar la rotura del enlace con la resina por reacción con ácido trifluoroacético, hidrólisis básica de la lactona y finalmente tratamiento con una resina de intercambio iónico la Amberlita IR-120.

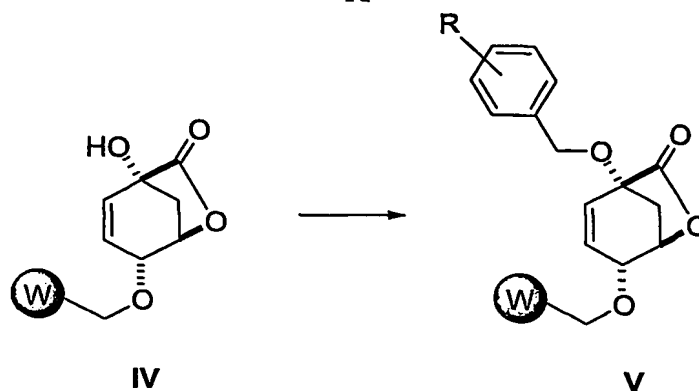


Preparación de la resina III. A una disolución del alcohol II (1.4 g, 5.18 mmol) en DMF seca (20 mL) enfriada a 0 °C y bajo atmósfera de argón se añadió hidruro sódico (222 mg, 5.54 mmol, suspensión comercial al 60% en aceite mineral). Después de 30 min a dicha temperatura la suspensión resultante se añadió *vía cánula* a una suspensión de la resina poliestirénica BromoWang (1 g, ~1.6 mmol/g) en DMF seca (17 mL) enfriada a 0 °C y bajo atmósfera de argón. A continuación se añadió éter 15-corona-5 (30 µL, 0.26 mmol) y la suspensión resultante se agitó suavemente, a 0 °C durante 30 min y a temperatura ambiente durante 24 h. Se filtró la resina y se lavó sucesivamente con DMF (3 x 15 mL), (3:1) DMF/agua (3 x 15 mL), THF (3 x 15 mL) y diclorometano (3 x 15 mL). Se obtuvo después de secar a vacío 1.02 g de la resina III en forma de granos amarillo pálido. IR (gel/cm⁻¹) 1797 y 1611; ¹³C-RMN (gel, 63 MHz, CDCl₃, δ) 128.5, 118.7, 114.7, 73.7, 71.2, 69.9, 64.8, 40.4, 37.7, 25.6 y -3.1.

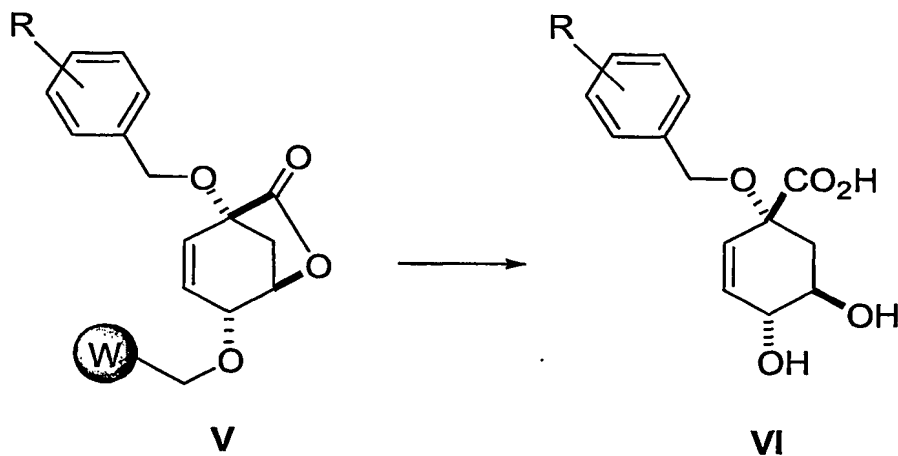


Preparación de la resina IV. A una suspensión de la resina III (1 g, ~1 mmol) en THF seco (16 mL) a 0 °C y bajo atmósfera inerte se añadió fluoruro de tetrabutilamonio (1.4 mL, disolución comercial 1M en THF). La suspensión resultante se agitó suavemente durante 2 h a temperatura ambiente. Se filtró la resina y se lavó sucesivamente con THF (3 x 15 mL), (3:1) 5%HCl/THF (3 x 15 mL), THF (3 x 15 mL) y diclorometano (3 x 15 mL). Se obtuvieron después de secar a vacío 0.9 g de la resina IV en forma de granos amarillo pálido. IR (gel/cm⁻¹) 3414, 1789 y 1609; ¹³C-RMN (gel, 63 MHz, CDCl₃, δ) 136.4, 129.5, 121.5, 115.3, 74.6, 71.1, 53.5 y 36.9.

11



Procedimiento general de alquilación. Una suspensión de la resina IV en DMF seca (1 mL por cada 100 mg de resina) a 0 °C y bajo atmósfera inerte se trató con 6 equivalentes de hidruro sódico (suspensión comercial al 60% en aceite mineral). La suspensión resultante se agitó suavemente durante 1 h a temperatura ambiente y a continuación se añadieron 10 equivalentes del correspondiente bromuro bencílico, y 0.3 equivalentes de éter 15-corona-5. La suspensión resultante se calentó entre 40-80 °C durante 24 a 48 h. Se filtró la resina y se lavó con THF (x3), (3:1) 10%HCl/THF (x3), THF (x3) y diclorometano seco (x3) para dar lugar a la resina V.

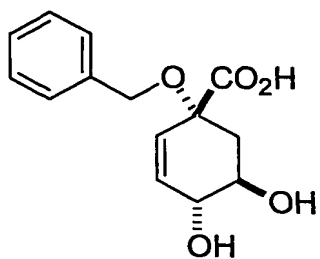


10

Procedimiento general de rotura de los compuestos de la resina. La resina se trató a temperatura ambiente y durante 1 h con una mezcla al 50% de TFA/diclorometano (1 mL por cada 100 mg de resina). Se filtró la resina y se lavó con diclorometano (x3). El filtrado se concentró a presión reducida y se secó a vacío durante 15 min. El residuo obtenido se redisolvió en THF y se trató con 5 equivalentes de una disolución acuosa de hidróxido de litio 0.5 M. Después de 30 min se añadió agua miliQ y la fase acuosa se lavó con dietil éter (3x). El extracto acuoso se trató con Amberlita IR-120 (H⁺) hasta pH 6. Se filtró la resina y se lavó con agua miliQ. El filtrado se liofilizó para dar lugar a un aceite incoloro o a una espuma, según el caso.

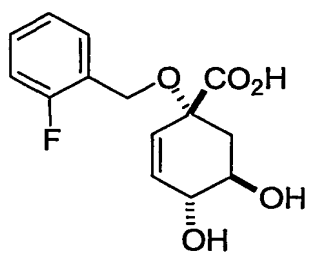
20

A continuación se indican los datos de algunos compuestos obtenidos usando este procedimiento:

**VIa**

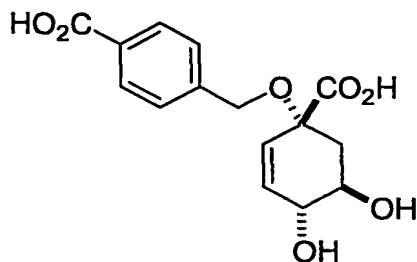
Ácido (1*R*,3*R*,4*R*)-1-benciloxi-3,4-dihidroxiciclohex-5-en-1-carboxílico (VIa). $[\alpha]^{25}_{\text{D}} +15^{\circ}$

- 5 (c 0.7 en H₂O); ¹H-RMN (250 MHz, D₂O, δ) 7.31 (m, 5H), 5.93 (d, 1H, *J* 10.1), 5.82 (dd, 1H, *J* 10.1 y 1.8), 4.41 (s, 2H), 4.00 (dd, 1H, *J* 8.3 y 1.8), 3.77 (td, 1H, *J* 8.3, 11.9 y 3.5), 2.14 (dd, 1H, *J* 13.6 y 3.5) y 1.87 (t, 1H, *J* 13.6 y 11.9); ¹³C-RMN (100 MHz, D₂O, δ) 178.1, 137.9, 134.2, 128.8, 128.8, 128.4, 127.3, 80.8, 72.6, 69.5, 67.7 y 37.9; IR (KBr)/cm⁻¹ 3434, 1714 y 1578; EM-IQ⁺ (*m/z*) 247 (MH⁺-H₂O); HRMS calcd. para C₁₄H₁₅O₄ (MH⁺): 247.0970, encontrado 247.0965.
- 10

**VIb**

Ácido (1*R*,3*R*,4*R*)-1-(2'-fluorobenciloxi)-3,4-dihidroxiciclohex-5-en-1-carboxílico (VIb).

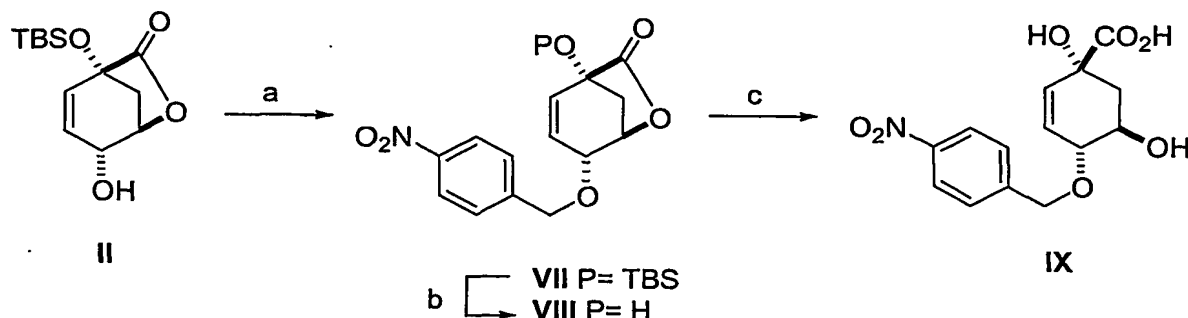
- 15 $[\alpha]^{25}_{\text{D}} -5^{\circ}$ (c 0.7 en H₂O); ¹⁹F-RMN (282 MHz, D₂O, δ) -117.0 (dt, 1F, *J* 10.5 y 6.3); ¹H-RMN (250 MHz, D₂O, δ) 7.41-7.29 (m, 2H), 7.15-7.02 (m, 2H), 5.94 (d, 1H, *J* 10.1), 5.86 (dd, 1H, *J* 10.1 y 1.7), 4.50 (s, 2H), 4.02 (dt, 1H, *J* 8.2 y 1.7), 3.78 (ddd, 1H, *J* 12.1, 3.6 y 8.2), 2.18 (ddd, 1H, *J* 13.7, 3.6 y 1.4) y 1.90 (dd, 1H, *J* 13.7 y 12.1); ¹³C-RMN (63 MHz, D₂O, δ) 177.8, 161.2 (*J* 244), 135.0, 131.8 (*J* 4), 130.9 (*J* 8), 127.0, 124.6 (*J* 18), 124.7, 115.7 (*J* 21), 80.3, 72.7, 69.6, 61.6 (*J* 4) y 37.8 (CH₂); IR (KBr)/cm⁻¹ 3420, 1717 y 1589; EM-IQ⁺ (*m/z*) 265 (MH⁺-H₂O); HRMS calcd. para C₁₄H₁₄O₄F (MH⁺): 265.0876, encontrado 265.0876.
- 20

**VIc**

Ácido (1*R*,3*R*,4*R*)-3,4-dihidroxi-1-(4'-carboxi)bencilociciclohex-5-en-1-carboxílico (VIc).
 P.f. 161-162 °C; $[\alpha]_D^{25} +16^\circ$ (c 1.3 en CH₃OH); ¹H-RMN (250 MHz, CD₃OD, δ) 7.94
 5 (d, 2H, *J* 8.2), 7.45 (d, 2H, *J* 8.2), 6.01 (d, 1H, *J* 10.1), 5.87 (dd, 1H, *J* 10.1 y 1.9),
 4.61 (d, 1H, *J* 11.8), 4.54 (d, 1H, *J* 11.8), 3.99-3.82 (m, 2H), 2.26 (dd, 1H, *J* 13.2 y
 3.4) y 1.96 (dd, 1H, *J* 13.2 y 11.5); ¹³C-RMN (63 MHz, CD₃OD, δ) 177.0, 170.0,
 145.6, 135.7, 130.6, 128.5, 128.2, 80.7, 74.1, 70.9, 67.5 y 30.8; IR (KBr)/cm⁻¹ 3444 y
 1697; EM-IQ⁺ (*m/z*) 291 (MH⁺-H₂O); HRMS calcd. para C₁₅H₁₅O₆ (MH⁺):
 10 291.0869, encontrado 291.0873.

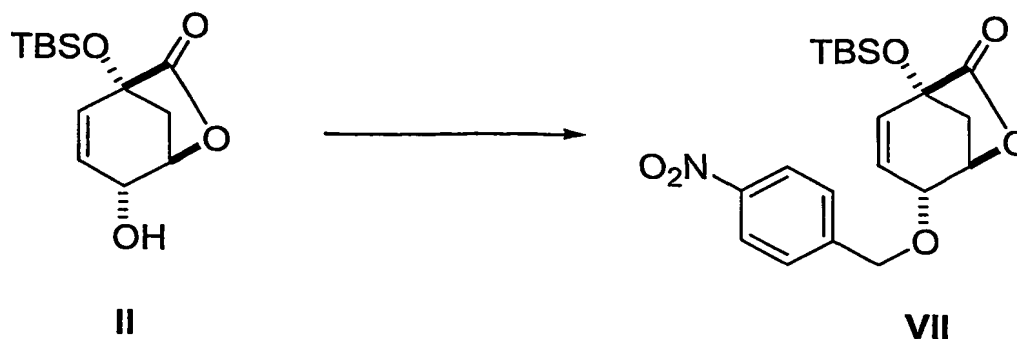
EJEMPLO 2

El ácido ciclohexénico (IX) se preparó siguiendo la mencionada estrategia sintética en
 disolución, empleando como sustancias de partida la hidroxycarbolactona II y el bromuro de
 4-nitrobencilo. Así, el tratamiento del alcóxido sódico derivado de la hidroxilactona II con
 15 bromuro de 4-nitrobencilo proporciona el éter VII que por reacción con fluoruro de
 tetrabutilamonio da lugar al alcohol terciario VIII. Finalmente la hidrólisis básica de la
 lactona VIII y posterior tratamiento con la resina de intercambio iónico Amberlita IR-120
 proporciona el compuesto deseado IX.

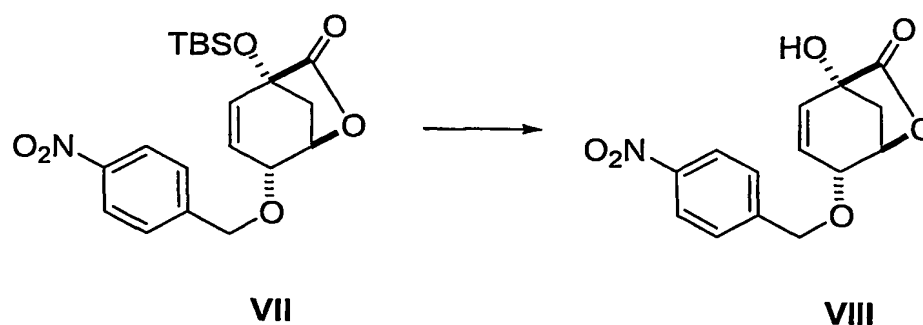


20

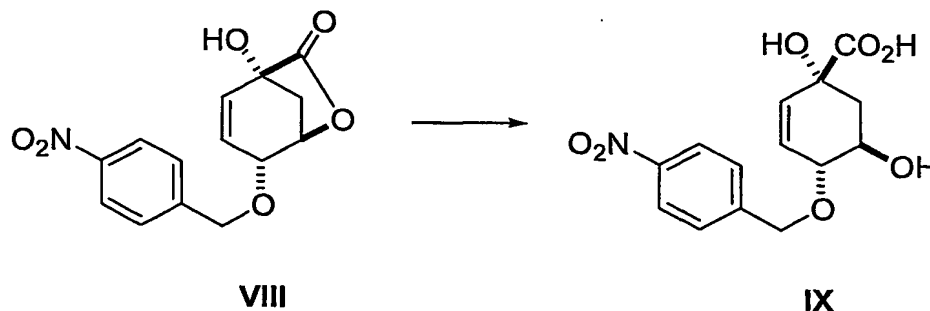
(a) 1. HNa, DMF, 0 °C; 2. bromuro de 4-nitrobencilo,
 Bu₄Ni, 15-corona-5, 80 °C; (b) TBAF, THF, 0 °C; (c) 1.
 LiOH, THF, t.a, 2. Amberlita IR-120 (H⁺).



Preparación de la (1*R*,3*R*,4*R*)-1-(*tert*-butildimetilsililo)-4-(4'-nitrobenciloxi)ciclohex-5-en-1,3-carbolactona (VII). A una disolución del alcohol II (164 mg, 0.61 mmol) en DMF seca (6 mL) a 0 °C y bajo atmósfera de argón se añadió hidruro sódico (29 mg, 0.73 mmol, suspensión comercial al 60% en aceite mineral). Después de 30 min a esta temperatura se añadió bromuro de 4-nitrobencil (171 mg, 0.79 mmol), yoduro de tetrabutilamonio (23 mg, 0.06 mmol) y éter 15-corona-5 (10 µL, 0.08 mmol). La disolución azul resultante se calentó a 80 °C durante 48 h. La suspensión obtenida se diluyó con dietil éter (5 mL) y con agua (15 mL). Se separó la fase orgánica y la fase acuosa se extrajo con dietil éter (3 x 20 mL). La fase orgánica reunida se secó (Na₂SO₄ anh.), filtró y concentró a presión reducida. El residuo obtenido se purificó mediante cromatografía rápida en gel de sílice (70% diclorometano/hexanos) para dar lugar a 60 mg (24%) del éter VII en forma de sólido amarillo pálido. $[\alpha]_D^{25}$ -172° (c 2.0 en CHCl₃); ¹H-RMN (250 MHz, CDCl₃, δ) 8.21 (d, 2H, *J* 8.8), 7.50 (d, 2H, *J* 8.8), 6.15 (ddd, 1H, *J* 9.8, 1.7 y 1.0), 5.78 (ddd, 1H, *J* 9.8, 3.2 y 1.1), 4.77 (s, 2H), 4.73 (m, 1H), 3.98 (t, 1H, *J* 3.2), 2.42 (ddd, 1H, *J* 10.6, 5.2 y 1.8), 2.37 (d, 1H, *J* 10.6), 0.90 (s, 9H), 0.17 (s, 3H) y 0.14 (s, 3H); ¹³C-RMN (63 MHz, CDCl₃, δ) 175.3, 147.5, 144.9, 138.9, 127.7, 124.2, 123.7, 75.0, 73.4, 72.4, 70.9, 37.7, 25.5, 17.9 y -3.1; IR(NaCl)/cm⁻¹ 1793; EM-IQ⁺ (*m/z*) 406 (MH⁺); HRMS calcd. para C₂₀H₂₈O₆NSi (MH⁺): 406.1686, encontrado 406.1676.



Preparación de la (1*R*,3*R*,4*R*)-1-hidroxi-4-(4'-nitrobenciloxi)ciclohex-5-en-1,3-carbolactona (VIII). A una disolución del sililéter VII (95 mg, 0.23 mmol), bajo atmósfera de argón y a 0 °C, en 2 mL de THF seco, se añadió fluoruro de tetrabutilamonio (0.25 mL, 0.25 mmol, disolución comercial 1.0 M en THF). Después de agitar 30 min a dicha temperatura, se aciduló con 10% HCl y se extrajo la fase orgánica con diclorometano (3 x 15 mL). La fase orgánica reunida se secó (Na₂SO₄ anh.), se filtró y concentró a presión reducida. El residuo obtenido se purificó mediante cromatografía rápida en gel de sílice (dietil éter) para dar lugar a 29 mg del alcohol VIII en forma de aceite amarillo pálido (43%). [α]_D²⁵ -265.5° (c 1.2, en CHCl₃); ¹H-RMN (250 MHz, CDCl₃, δ) 8.22 (d, 2H, *J* 8.7), 7.51 (d, 2H, *J* 8.7), 6.17 (d, 1H, *J* 9.8), 5.82 (ddd, 1H, *J* 9.8, 3.3 y 1.0), 4.81 (m, 1H), 4.78 (s, 2H), 4.02 (t, 1H, *J* 3.3), 3.35 (s ancho, 1H) y 2.44 (m, 2H); ¹³C-RMN (63 MHz, CDCl₃, δ) 177.2, 147.6, 144.8, 137.4, 127.7, 125.1, 123.8, 74.5, 73.4, 72.2, 71.0 y 36.9; IR (NaCl)/cm⁻¹ 3405 y 1784; EM-IQ⁺ (*m/z*) 292 (MH⁺); HRMS calcd. para C₁₄H₁₄O₆N (MH⁺): 292.0821, encontrado 292.0826.



Preparación del ácido (1*R*,3*R*,4*R*)-1,3-dihidroxi-4-(4'-nitrobenciloxi)ciclohex-5-en-1-carboxílico (IX). Una disolución de la carbolactona VIII (28 mg, 0.10 mmol) en 1 mL de THF y 0.5 mL de una disolución acuosa 0.5 M de hidróxido de litio se agitó a temperatura ambiente durante 1 h. La disolución resultante se diluyó con agua miliQ (5 mL) y se trató con Amberlita IR-120 (H⁺) hasta pH 6. Se filtró y lavó la resina con agua miliQ (15 mL). El filtrado se concentró a presión reducida para dar lugar a 23 mg del ácido IX (74%) en forma de sólido amarillo pálido. [α]_D²⁵ -121° (c 1.1, en CH₃OH); ¹H-RMN (250 MHz, CD₃OD, δ) 8.20 (d, 2H, *J* 8.8), 7.65 (d, 2H, *J* 8.8), 5.93 (dd, 1H, *J* 10.0 y 1.8), 5.73 (d, 1H, *J* 10.0), 4.84 (s, 2H), 4.04 (m, 1H), 3.93 (dt, 1H, *J* 7.9 y 1.8) y 2.07 (m, 2H); ¹³C-RMN (63 MHz, CD₃OD, δ) 176.8, 147.6, 147.1, 130.4, 129.3, 128.1, 123.4, 81.1, 73.5, 70.4, 68.2 y 40.2; IR (KBr)/cm⁻¹ 3528 y 1596; EM-IQ⁺ (*m/z*) 310 (MH⁺); HRMS calcd. para C₁₄H₁₆NO₇ (MH⁺): 310.0928, encontrado 310.0928.

EJEMPLO 3

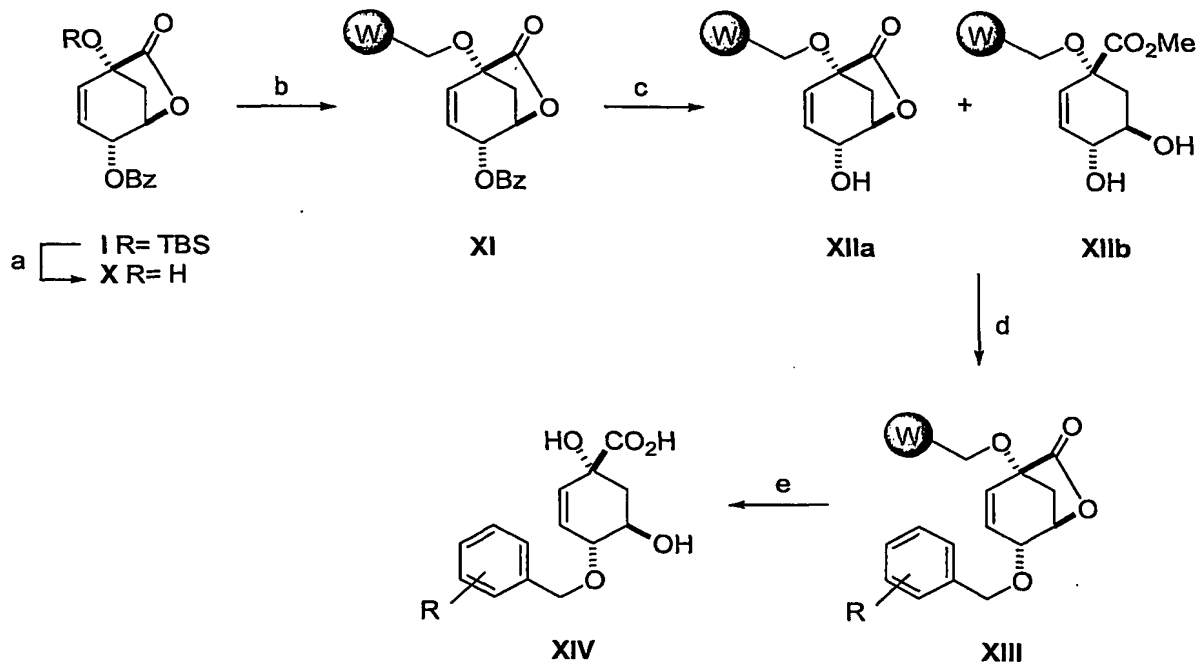
Los ácidos ciclohexénicos (XIV) se prepararon siguiendo la segunda estrategia sintética en fase sólida, y empleando como sustancias de partida la carbolactona X, la resina poliestirénica BromoWang y el correspondiente bromuro de bencilo derivado. Así, el

5 tratamiento de la carbolactona I con fluoruro de tetrabutilamonio proporciona el alcohol X que por tratamiento con hidruro sódico y posterior reacción con la resina poliestirénica bromoWang conduce al éter XI. La desprotección del grupo benzoilo se realiza por

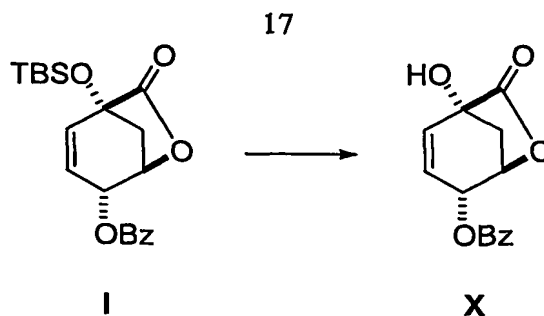
10 tratamiento del éter XI con cianuro potásico y da lugar a la resina XII en forma de carbolactona XIIa y de ester metílico XIIb. El tratamiento de la resina XII con hidruro sódico y posterior reacción con los correspondientes bromuros de bencílicos da lugar a los

éteres XIII. Finalmente los ácidos deseados XIV se obtienen mediante un proceso en tres etapas que consiste en primer lugar la rotura del enlace con la resina por tratamiento con ácido

15 trifluoroacético, hidrólisis básica de la lactona y finalmente tratamiento con una resina de intercambio iónico la Amberlita IR-120.

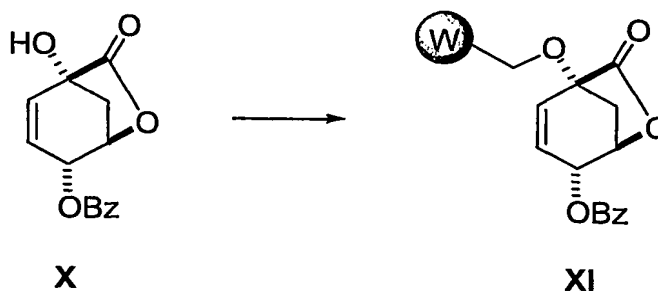


(a) TBAF, THF, 0 °C; (b) 1. HNa, DMF, 0 °C; 2. resina BromoWang, Bu₄NI, 15-corona-5, 80 °C; (c) KCN, MeOH, t.a.; (d) 1. HNa, DMF, 0 °C; 2. R-fenil-CH₂Br, Bu₄NI, 15-corona-5, 80 °C; (e) 1. 50% TFA/DCM, 2. LiOH, THF, t.a., 3. Amberlita IR-120 (H⁺).



Preparación de la (1*R*,3*R*,4*R*)-4-benzoiloxi-1-hidroxiciclohex-5-en-1,3-carbolactona (X).

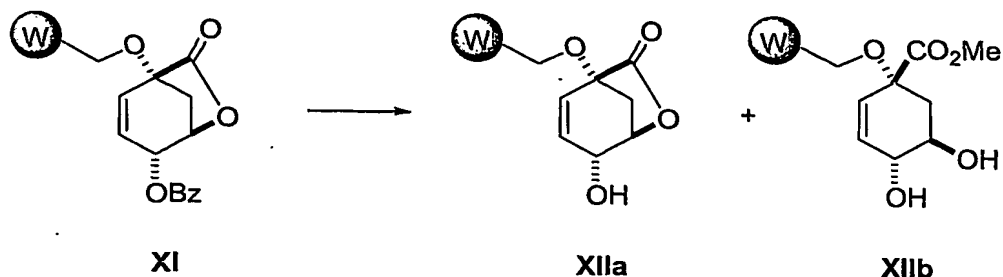
A una disolución del compuesto I (2.16 g, 5.78 mmol) en 80 mL de THF seco, bajo argón y a 0 °C, se añadió fluoruro de tetrabutilamonio (6.4 mL, 6.36 mmol, disolución comercial 1.0 M en THF). Después de agitar durante 30 minutos se aciduló con 10% HCl (20 mL) y se extrajo la fase orgánica con diclorometano (x3). La fase orgánica reunida se secó (Na₂SO₄ anhidro), se filtró y se concentró a presión reducida. El residuo obtenido se purificó mediante una cromatografía rápida en gel de sílice (75% dietil éter/hexanos) y se recrystalizó de hexanos para dar lugar a 1.38 g del alcohol X en forma de microcristales blancos (92%). [α]_D²⁵ -103° (c 0.6 en CHCl₃); P.f. 104-105 °C (hexanos); ¹H-RMN (250 MHz, CDCl₃, δ) 8.03 (dd, 2H, *J* 8.5 y 1.4), 7.60 (m, 1H), 7.46 (t, 1H, *J* 7.5), 6.30 (d, 1H, *J* 9.7), 5.88 (ddd, 1H, *J* 9.7, 3.3 y 1.1), 5.54 (t, 1H, *J* 3.0), 4.90 (m, 1H), 3.79 (s ancho, 1H), 2.55 (ddd, 1H, *J* 11.7, 5.2 y 1.7) y 2.49 (d, 1H, *J* 11.7); ¹³C-RMN (63 MHz, CDCl₃, δ) 177.1, 165.2, 138.6, 133.7, 129.8, 128.9, 128.6, 124.2, 74.3, 73.3, 66.1 y 37.2; IR (KBr)/cm⁻¹ 3478, 1775 y 1722; EM-IQ⁺ (*m/z*) 261 (MH)⁺; HRMS calcd. para C₁₄H₁₃O₅ (MH)⁺: 261.0763, encontrado 261.0755. Anal. calcd. para C₁₄H₁₂O₅: C, 64.60; H, 4.65. Encontrado: C, 64.60; H, 4.65.



20

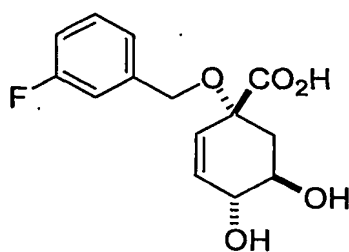
Preparación de la resina XI. A una disolución del alcohol X (1.43 g, 5.48 mmol) en DMF seca (25 mL), a 0 °C y bajo atmósfera de argón, se añadió hidruro sódico (264 mg, 6.60 mmol, suspensión comercial al 60% en aceite mineral). Después de 30 min la suspensión resultante se añadió *vía cánula* a una suspensión a 0 °C y bajo atmósfera inerte, de la resina

poliestirénica BromoWang (1.4 g, ~1.6 mmol/g, ~2.24 mmol) en DMF seca (16 mL). Se añadió a continuación éter 15-corona-5 (60 μ L, 0.32 mmol) y la suspensión resultante se agitó suavemente a dicha temperatura durante 30 min y se calentó a 80 °C durante 48 h. Se filtró y lavó la resina obtenida con DMF (3 x 20 mL), (3:1) DMF/agua (3 x 10 mL), THF (3 x 10 mL) y diclorometano seco (2 x 10 mL) para dar lugar a 1.4 g de la resina **XI** en forma de granos marrones. IR (gel)/cm⁻¹ 1794, 1718 y 1611; ¹³C-RMN (gel, 63 MHz, CDCl₃, δ) 137.0, 133.6, 129.5, 114.6, 73.6, 70.0, 67.5, 40.4 y 34.0.



Preparación de la resina XII. A una suspensión de la resina **XI** (1.1 g, ~1.3 mmol) en THF seco (6 mL) se añadió una disolución de cianuro potásico (136 mg, 2.09 mmol) en metanol (2 mL). La suspensión resultante se burbujeó con argón durante 2 h a temperatura ambiente. Se filtró y lavó la resina con THF (3 x 15 mL), metanol (3 x 15 mL), THF (3 x 15 mL) y diclorometano seco (2 x 10 mL). Se obtuvo ~1 g de la resina **XII** en forma de granos marrones. IR (gel/cm⁻¹) 3392, 1792, 1732 y 1604; ¹³C-RMN (gel, 63 MHz, CDCl₃, δ) 129.6, 114.6, 70.2, 67.4, 53.4 y 40.4.

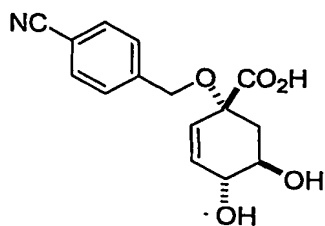
A continuación se indican los datos de algunos compuestos obtenidos usando el procedimiento antes mencionado:



XIVa

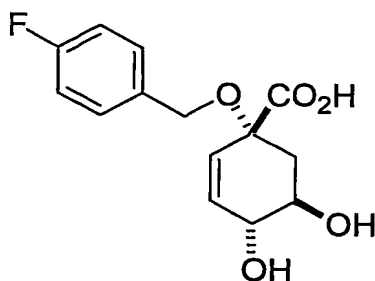
Ácido (1R,3R,4R)-1-(3'-fluorobenciloxi)-3,4-dihidroxiciclohex-5-en-1-carboxílico (XIVa).
 $[\alpha]_D^{25} +11^\circ$ (c 0.6 en H₂O); ¹⁹F-RMN (282 MHz, D₂O, δ) 111.8 (dt, 1F, *J* 9.6 y 5.6); ¹H-RMN (250 MHz, D₂O, δ) 7.61 (m, 1H), 7.43-7.26 (m, 3H), 6.23 (d, 1H, *J* 10.1), 6.14 (dd, 1H, *J* 10.1 y 1.8), 4.72 (s, 2H), 4.31 (dt, 1H, *J* 8.2 y 1.7), 4.08 (ddd, 1H, *J* 12.2, 3.7 y 8.2), 2.44 (ddd, 1H, *J* 13.6, 3.0 y 1.1) y 2.19 (dd, 1H, *J* 13.6 y 12.2); ¹³C-RMN (63 MHz, D₂O, δ) 175.2, 162.9 (*J* 242), 140.6 (*J* 7), 134.6, 130.6 (*J* 8), 127.2,

124.5 (*J* 3), 115.4 (*J* 21), 115.1 (*J* 21), 80.0, 72.7, 69.6, 67.1 y 38.2; IR (KBr)/cm⁻¹ 3400, 1716 y 1592; EM-IQ⁺ (*m/z*) 265 (MH⁺-H₂O); HRMS calcd. para C₁₄H₁₄O₄F (MH⁺): 265.0876, encontrado 265.0870.



XIVb

- 5 **Ácido (1*R*,3*R*,4*R*)-3,4-dihidroxi-1-(4'-ciano)benziloxiciclohex-5-en-1-carboxílico (XIVb).** P.f. 81-82 °C; [α]²⁵_D +18° (c 0.6 en CH₃OH); ¹H-RMN (250 MHz, CD₃OD, δ) 7.66 (d, 2H, *J* 8.3), 7.55 (d, 2H, *J* 8.3), 6.01 (d, 1H, *J* 10.1), 5.87 (dd, 1H, *J* 10.1 y 2.0), 4.64 (d, 1H, *J* 12.3), 4.56 (d, 1H, *J* 12.3), 3.98 (dt, 1H, *J* 7.8, 2.0 y 1.8), 3.86 (ddd, 1H, *J* 7.8, 11.5 y 3.6), 2.26 (ddd, 1H, *J* 13.3, 2.2 y 3.6) y 1.98 (dd, 1H, *J* 11.5 y 13.3); ¹³C-RMN (63 MHz, CD₃OD, δ) 177.2, 146.4, 135.7, 133.1, 129.3, 128.3, 119.8, 111.9, 80.8, 74.1, 70.9, 67.1 y 39.7; IR (KBr)/cm⁻¹ 3410, 2232 y 1716; EM-IQ⁺ (*m/z*) 272 (MH⁺-H₂O); HRMS calcd. para C₁₅H₁₄NO₄ (MH⁺): 272.0923, encontrado 272.0930.

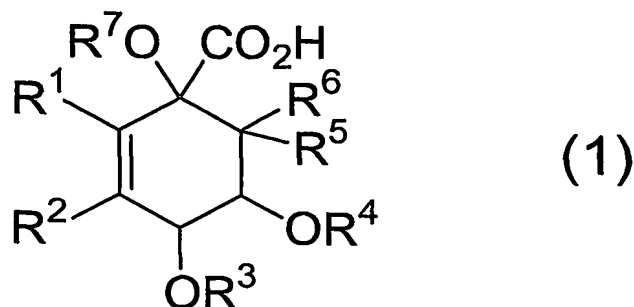


XIVc

- 15 **Ácido (1*R*,3*R*,4*R*)-1-(4'-fluorobenziloxi)-3,4-dihidroxiciclohex-5-en-1-carboxílico (XIVc).** [α]²⁵_D +9° (c 1.0 en H₂O); ¹⁹F-RMN (282 MHz, D₂O, δ) 112.6 (tt, 1F, *J* 9.1 y 5.2); ¹H-RMN (250 MHz, D₂O, δ) 7.32 (dd, 2H, *J* 7.7 y 5.7), 7.04 (t, 2H, *J* 8.7), 5.91 (m, 2H), 4.40 (s, 2H), 4.03 (dd, 1H, *J* 8.2 y 1.2), 3.78 (ddd, 1H, *J* 11.6, 8.2 y 3.45), 2.15 (dd, 1H, *J* 13.6 y 3.45) y 1.90 (t, 1H, *J* 13.6 y 11.6); ¹³C-RMN (63 MHz, D₂O, δ) 177.8, 162.7 (*J* 242), 134.8, 133.8, 131.1 (*J* 8), 127.0, 115.6 (*J* 21), 80.3, 72.7, 69.6, 67.2 y 38.0; IR (KBr)/cm⁻¹ 3420, 1716 y 1605; EM-IQ⁺ (*m/z*) 265 (MH⁺-H₂O); HRMS calcd. para C₁₄H₁₄O₄F (MH⁺): 265.0876, encontrado 263.0880.

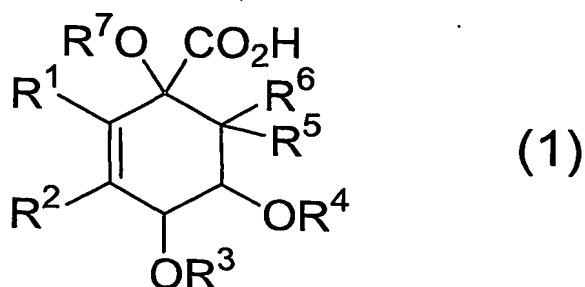
REIVINDICACIONES

1.- Compuestos de fórmula (1), caracterizados por:

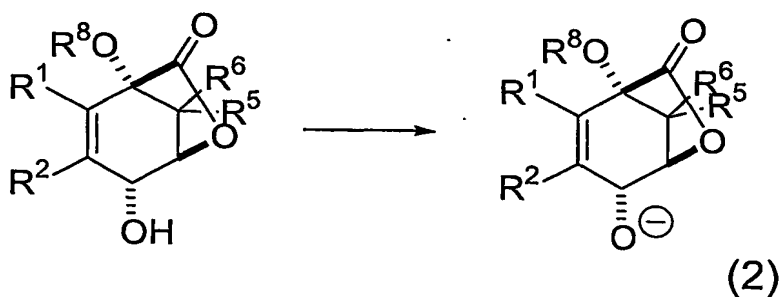


- 5 - R^1 , R^2 , R^3 , R^4 , R^5 , R^6 y R^7 pueden ser un átomo de hidrógeno, un grupo aciloxi, alquiloxi, ariloxi, alquiltio, alquilamina, alquilnitro, alquilazido, alquilfosfato, alquilcarboxi, ariltio, alquílico con cadenas de C1-C10 o un grupo benciloxi en el que el anillo aromático puede estar sustituido por uno o varios radicales, idénticos o diferentes, elegidos entre grupos halógeno, alquilo polihalogenados, nitro, azido, amino, fosfato, carboxi, ciano, amida, tiol,
- 10 tioester, guanidinio, tioéter, alcohol, alcoxi o alquilo con cadenas de C1-C10. Los radicales pueden ser alquílico lineal o ramificado de 1-10 átomos de carbono, alquenilo de 2 a 10 átomos de carbono, alquinilo de 3 a 10 átomos de carbono, cicloalquilo de 3 a 6 átomos de carbono, cicloalquenilo de 4 a 6 átomos de carbono, o bicicloalquílico de 7 a 10 átomos de carbono; estando sustituidos eventualmente estos radicales por uno o varios sustituyentes,
- 15 idénticos o diferentes, elegidos entre los átomos de halógeno y los radicales hidroxilo, amino, tiol, azido, nitro, fosfato, alcoxi que contienen de 1 a 4 átomos de carbono, piperidinilo, morfolinilo, indol, furano, piperazinilo-1 (eventualmente sustituido en -4 por un radical alquilo de 1 a 4 átomos de carbono o por un radical fenilalquilo, cuya parte alquilo contiene de 1 a 4 átomos de carbono), cicloalquilo de 3 a 6 átomos de carbono, cicloalquenilo de 4 a 6
- 20 átomos de carbono, fenilo, ciano, nitro, carboxi, alcóxicarbonilo, halógeno, amino o amida, cuya parte alquilo contiene de 1 a 4 átomos de carbono, o un radical fenilo, eventualmente sustituido por uno o varios radicales, idénticos o distintos, elegidos entre los radicales alquilo de 1 a 4 átomos de carbono halogenados o no, o alcoxi de 1 a 4 átomos de carbono, o grupos halógenos, nitro, azido, fosfato, amino, ciano, carboxi, amida, tiol, tioester, guanidinio,
- 25 tioéter, alcohol, un radical heterocíclico nitrogenado saturado o insaturado que contiene de 1 a 4 átomos de carbono, un radical heterocíclico nitrogenado saturado o insaturado que contiene 5 ó 6 miembros, eventualmente sustituidos por uno o varios radicales alquilo de 1 a 4 átomos de carbono, entendiéndose que los radicales cicloalquilo, cicloalquenilo o bicicloalquilo pueden estar eventualmente sustituidos por uno o varios radicales alquílicos que contienen de
- 30 1 a 4 átomos de carbono.

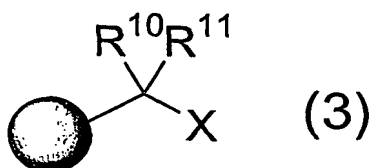
2.- Un procedimiento (procedimiento I) para la preparación de los compuestos de fórmula (1), caracterizado, como transformaciones sintéticas más destacadas, por las siguientes etapas:



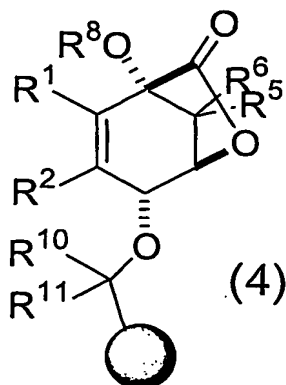
5 a) la alquilación del alcóxido portador del anillo ciclohexénico, de fórmula general (2),



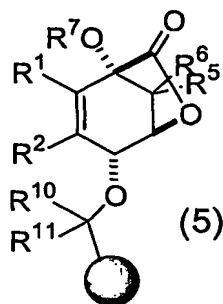
con resinas electrófilas de fórmula general (3),



10 obteniéndose como producto de reacción compuestos de fórmula general (4), en los que los grupos R^1 , R^2 , R^5 , R^6 , R^8 , R^{10} y R^{11} presentan las características estructurales indicadas en la reivindicación 1, y el grupo X puede ser un halógeno, un grupo sulfonato, cualquier otro grupo saliente o un grupo carbonilo:

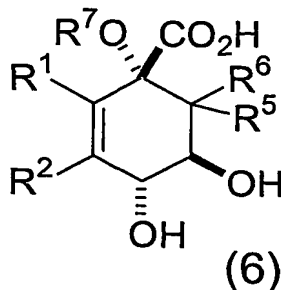


b) la alquilación de los compuestos de fórmula general (4), de la anterior etapa a), en un disolvente inerte, para obtener los éteres de fórmula general (5),



5 en los que los grupos R¹, R², R⁵, R⁶, R¹⁰ y R¹¹ tienen las características descritas anteriormente, y el grupo R⁷ presenta las características estructurales indicadas en la reivindicación 1.

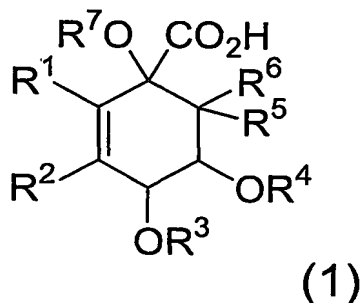
c) reacción de rotura de la resina seguida de hidrólisis de la lactona, obteniéndose productos de fórmula general (6),



10

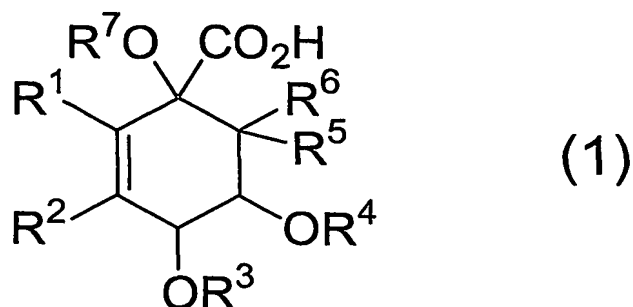
en los que los grupos R¹, R², R⁵, R⁶ y R⁷ tienen el significado dado anteriormente.

d) Las posteriores modificaciones de grupos funcionales, tales como, oxidaciones, reducciones, esterificaciones, alquilaciones, isomerizaciones, etc., para dar lugar a los compuestos de fórmula general (1),

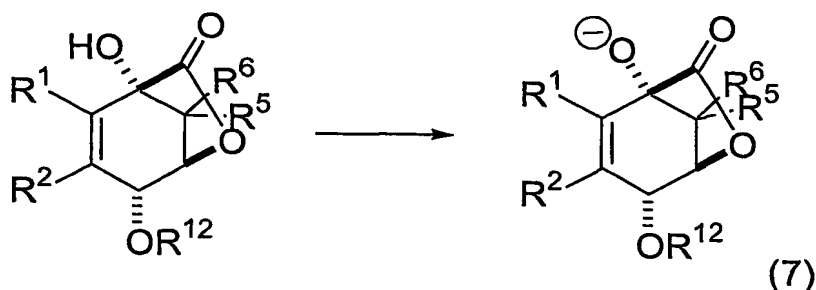


en los que los grupos R¹, R², R³, R⁴, R⁵, R⁶ y R⁷ tienen el significado dado anteriormente en la reivindicación 1.

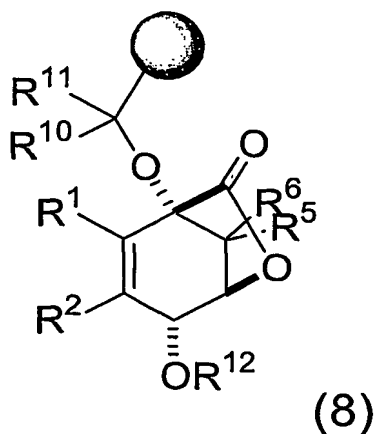
3.- Un procedimiento (procedimiento II) para la preparación de los compuestos de fórmula (1), caracterizado, como transformaciones sintéticas más destacadas, por las siguientes etapas:



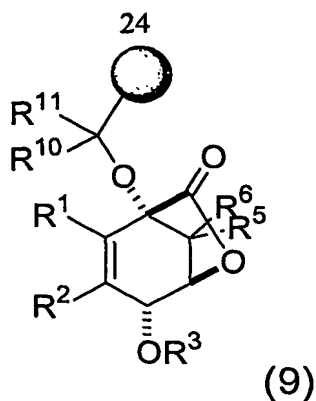
- 5 a) la alquilación del alcóxido portador del anillo ciclohexénico, de fórmula general (7),



- con resinas electrófilas de fórmula general (3), anteriormente descritas en la reivindicación 2, obteniéndose como producto de reacción compuestos de fórmula general (8), en los que los grupos R^1 , R^2 , R^5 , R^6 , R^{10} , R^{11} y R^{12} presentan las características estructurales indicadas en la reivindicación 1, y el grupo X presenta las características indicadas en la reivindicación 2:

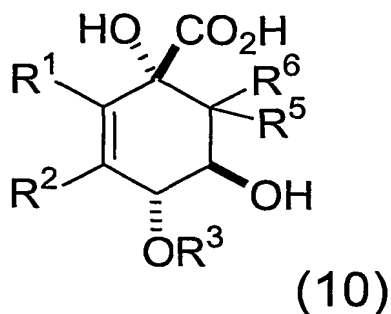


- b) la alquilación de los compuestos de fórmula general (8), de la anterior etapa a), en un disolvente inerte, para obtener los éteres de fórmula general (9),



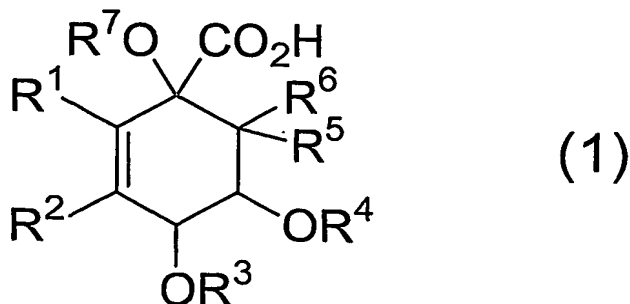
en los que los grupos R¹, R², R⁵, R⁶, R¹⁰ y R¹¹ tienen las características descritas anteriormente, y el grupo R³ presenta las características estructurales indicadas en la reivindicación 1.

- 5 c) reacción de rotura de la resina seguida de hidrólisis de la lactona, obteniéndose productos de fórmula general (10),



en los que los grupos R¹, R², R³, R⁵ y R⁶ tienen el significado dado anteriormente.

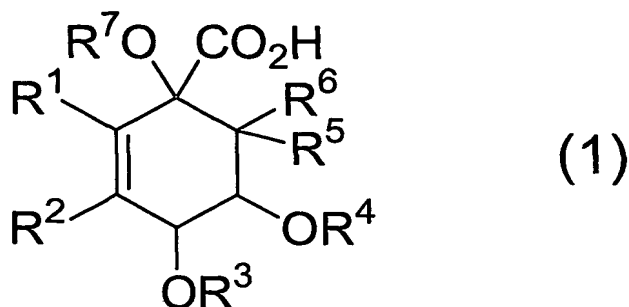
- 10 d) Las posteriores modificaciones de grupos funcionales, tales como, oxidaciones, reducciones, esterificaciones, alquilaciones, isomerizaciones, etc., para dar lugar a los compuestos de fórmula general (1),



15

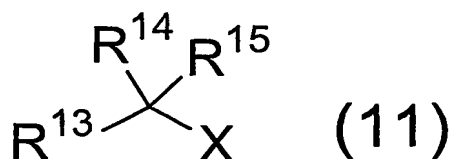
en los que los grupos R¹, R², R³, R⁴, R⁵, R⁶ y R⁷ tienen el significado dado anteriormente en la reivindicación 1.

4.- Un procedimiento (procedimiento III) para la preparación de los compuestos de fórmula (1), caracterizado, como transformaciones sintéticas más destacadas, por las siguientes etapas:



5

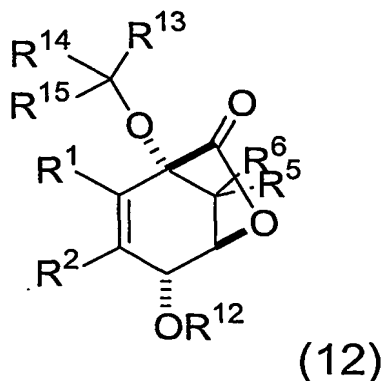
a) la alquilación del alcóxido portador del anillo ciclohexénico, de fórmula general (7) anteriormente indicado en la reivindicación 3, con electrófilos de fórmula general (11),



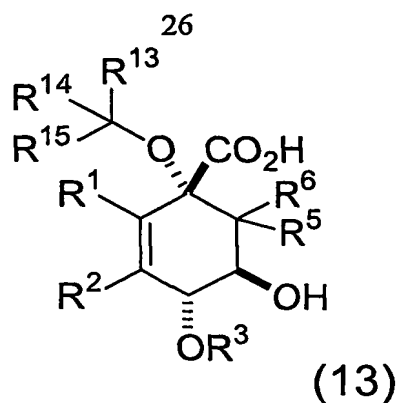
10

obteniéndose como producto de reacción compuestos de fórmula general (12), en los que los grupos R^1 , R^2 , R^5 , R^6 , R^{12} , R^{13} , R^{14} y R^{15} presentan las características estructurales indicadas en la reivindicación 1, y el grupo X puede ser un halógeno, un grupo sulfonato, cualquier otro grupo saliente o un grupo carbonilo:

15

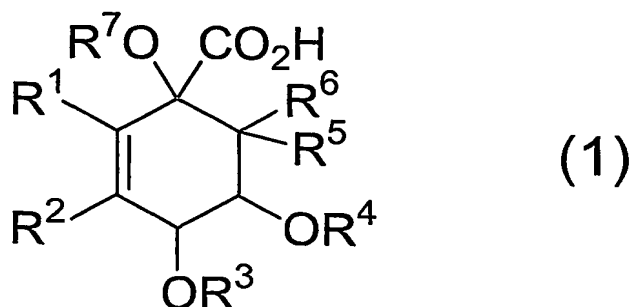


b) reacción de hidrólisis de la lactona, obteniéndose productos de fórmula general (13),



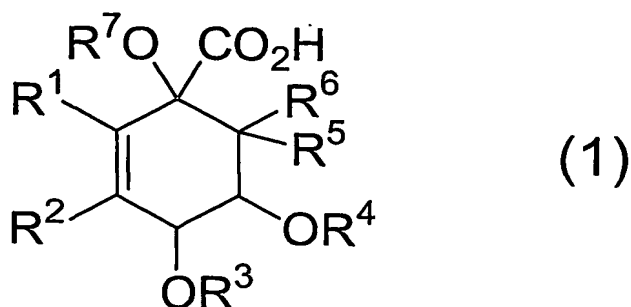
en los que los grupos R^1 , R^2 , R^3 , R^5 , R^6 , R^{13} , R^{14} y R^{15} tienen el significado dado anteriormente.

- 5 c) Las posteriores modificaciones de grupos funcionales, tales como oxidaciones, reducciones, esterificaciones, alquilaciones, isomerizaciones, etc., para dar lugar a los compuestos de fórmula general (1),



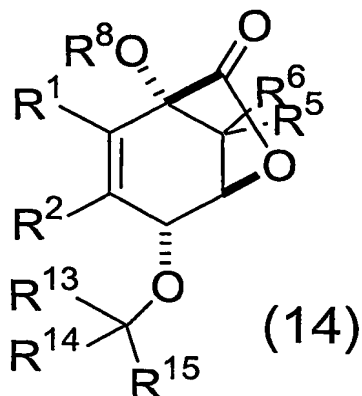
- 10 en los que los grupos R^1 , R^2 , R^3 , R^4 , R^5 , R^6 y R^7 tienen el significado dado anteriormente en la reivindicación 1.

5.- Un procedimiento (procedimiento IV) para la preparación de los compuestos de fórmula (1), caracterizado, como transformaciones sintéticas más destacadas, por las siguientes etapas:



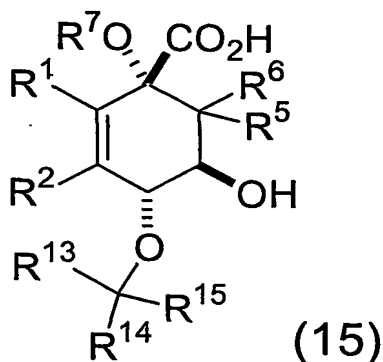
- 15 a) la alquilación del alcóxido portador del anillo ciclohexénico, de fórmula general (2), con electrófilos de fórmula general (11), anteriormente indicados en las reivindicaciones 2 y

4, respectivamente, obteniéndose como producto de reacción compuestos de fórmula general (14), en los que los grupos R^1 , R^2 , R^5 , R^6 , R^8 , R^{13} , R^{14} y R^{15} presentan las características estructurales indicadas en la reivindicación 1,



5

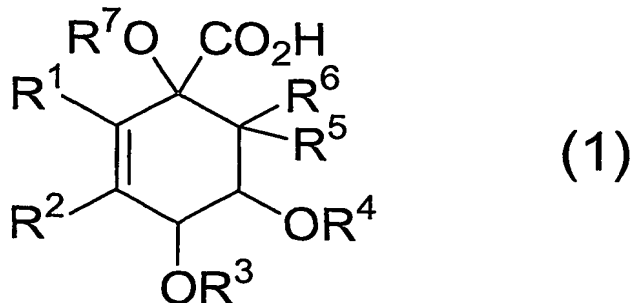
b) reacción de hidrólisis de la lactona, obteniéndose productos de fórmula general (15),



10

en los que los grupos R^1 , R^2 , R^5 , R^6 , R^7 , R^{13} , R^{14} y R^{15} tienen el significado dado anteriormente.

c) Las posteriores modificaciones de grupos funcionales, tales como, oxidaciones, reducciones, esterificaciones, alquilaciones, isomerizaciones, etc., para dar lugar a los compuestos de fórmula general (1),



15

en los que los grupos R^1 , R^2 , R^3 , R^4 , R^5 , R^6 y R^7 tienen el significado dado anteriormente en la reivindicación 1.

6.- Una composición farmacéutica, caracterizada porque contiene como ingrediente activo un compuesto de las reivindicaciones 1, 2, 3, 4 y 5, en una mezcla con el adecuado vehículo o transportador.

5 7.- Uso de los compuestos de fórmula general 1, en la fabricación de una composición farmacéutica antitumoral.

8.- Uso de los compuestos de fórmula general 1, en la fabricación de una composición farmacéutica antifúngica.

9.- Uso de los compuestos de fórmula general 1, en la fabricación de una composición farmacéutica antimicrobiana.

10 10.- Uso de los compuestos de fórmula general 1, en la fabricación de una composición farmacéutica antivírica.

11.- Uso de los compuestos de fórmula general 1, en la fabricación de una composición farmacéutica inmunosupresora.

15 12.- Uso de los compuestos de fórmula general 1, en la fabricación de una composición herbicida.